

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS  
PRODUZIDO EM BIODIGESTORES DE PROPRIEDADES  
SUINÍCOLAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**Wilian Sartor Sganzerla**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2008**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS  
PRODUZIDO EM BIODIGESTORES DE PROPRIEDADES  
SUINÍCOLAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**Wilian Sartor Sganzerla**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Conclusão  
do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Paulo Belli Filho**

**Co-orientadora  
Eng. Anigeli Dal Mago**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2008**

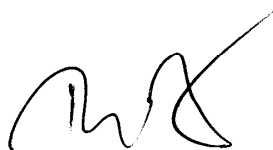
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO  
EM BIODIGESTORES DE PROPRIEDADES SUÍNÍCOLAS NO ESTADO DE  
SANTA CATARINA**

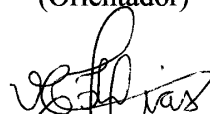
**WILIAN SARTOR SGANZERLA**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II**

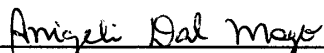
**BANCA EXAMINADORA:**



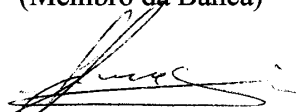
**Prof. Dr. Paulo Belli Filho**  
(Orientador)



**Eng.ª Sanitarista e Ambiental**  
**Vanessa Cristina Ferreira Dias**  
(Membro da Banca)



**Eng.ª Sanitarista e Ambiental**  
**Anigeli Dal Mago**  
(Co-orientadora)



**Eng.º Agrônomo, Msc.**  
**Hugo Adolfo Gosmann**  
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
NOVEMBRO/2008**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Paulo Belli Filho, pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.

A mestranda Anigeli Dal Mago, pela amizade, companheirismo e orientação ao longo da execução deste trabalho.

A banca examinadora, Hugo Gosmann e Vanessa Dias pela disponibilidade e contribuições dadas ao trabalho final.

A Margarida Gusmão, pela convivência amistosa e disponibilidade dos dados para o desenvolvimento deste trabalho.

A meus pais, Odilon e Janete, pelo incentivo, carinho e motivação nas horas difíceis.

## RESUMO

Com o advento dos sistemas confinados de produção de suínos e a maior concentração de animais, a atividade suinícola passou a gerar grandes quantidades de dejetos, em espaços bem restritos. Os dejetos suínos apresentam alta carga poluente, e são responsáveis pela contaminação de grande parte dos corpos hídricos do estado de Santa Catarina. Uma forma de tratamento destes efluentes é a técnica da digestão anaeróbia, a qual promove o tratamento dos dejetos e a produção de biogás. O biogás é uma ótima fonte energética, porém seu potencial ainda não é amplamente utilizado, uma vez que requer um considerável investimento inicial. A viabilidade do aproveitamento do biogás depende principalmente da quantidade de biogás produzido e de sua composição. Este trabalho teve por objetivo avaliar a composição e estimar a quantidade de biogás produzido, em determinadas propriedades criadoras de suínos no Estado de Santa Catarina, as quais foram escolhidas conforme a representatividade da atividade na região. Os teores de metano observados no biogás das propriedades visitadas estiveram no intervalo de 56% a 72%, enquanto o teor de CO<sub>2</sub> situou-se entre 28% e 48%. Em relação a estimativa da produção de biogás, os valores encontrados variaram de 38,4 a 158,4 m<sup>3</sup>/d. De modo geral, as condições do processo de digestão anaeróbia foram consideradas ideais, propiciando que os biodigestores alcançassem satisfatórios índices de remoção de DQO e SV.

Palavras – Chave: Biodigestores, dejetos de suínos, biogás, digestão anaeróbia.

## ABSTRACT

With the advent of confined systems to swine production and the high concentration of animals, the pig activity rose to generate large amounts of waste, in very restricted areas. The big manure has high pollution load, and it is responsible for the contamination of most hydric recourses in the State of Santa Catarina. One way of treating such effluents is the technique of anaerobic digestion which is responsible for the wastes treatment and the biogas production. The biogas is an excellent energy source, however its potential is not yet widely used, since it requires a high initial investment. The viability of the use of biogas depends primarily on the amount of biogas produced and its composition. This dissertation aims to evaluate the composition and estimate the amount of biogas produced, in determined proprieties of pig creation in the State of Santa Catarina. The levels of methane found in biogas of the visited properties were in the range of 56% to 72%, while the level of CO<sub>2</sub> was between 28% and 48%. Regarding the estimation of biogas production, the values found ranged from 38,4 to 158,4 m<sup>3</sup>/d. To evaluate the anaerobic conditions, there were physical-chemical analyses on wastes samples of entry and exit of the biodigesters, involving the parameters: temperature, pH, redox potencial, COD, total solids and volatile solids. The conditions of the anaerobic digestion were considered ideally, propitiating the satisfactory results of COD e SV removal.

Key – Words: Biodigester, swine wastes, biogas, anaerobic digestion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia .....	18
Figura 2: Sistema de Tratamento – P1.....	27
Figura 3: Biodigestor da P2 .....	28
Figura 4: Queimador na P2.....	28
Figura 5: Propriedade P4 .....	29
Figura 6: Biodigestor P5 .....	30
Figura 7: Lagoa de armazenamento da P5.....	30
Figura 8: Propriedade P6 .....	31
Figura 9: <i>Dräger X-am 7000</i> .....	32
Figura 10: Termo-Anemômetro TA45 .....	32
Figura 11: Sistema utilizado para a efetuação das medições.....	33
Figura 12: Gráfico da composição do biogás em P1 e P2 .....	38
Figura 13: Gráfico da composição do Biogás nas propriedades de UPL .....	41
Figura 14: Gráfico da composição do Biogás nas propriedades de CT.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do Biogás – Valores típicos .....	16
Tabela 2: Quantidade de MS .....	23
Tabela 3: Caracterização das propriedades de CC.....	27
Tabela 4: Caracterização das propriedades de UPL .....	29
Tabela 5: Características das propriedades de CT .....	30
Tabela 6: Características do Afluente e Efluente em P1 e P2.....	39
Tabela 7: Estimativa da produção de Biogás nas Propriedades de CC .....	41
Tabela 8: Características do Afluente e Efluente em P3 e P4.....	42
Tabela 9: Estimativa da Produção de Biogás nas propriedades de UPL .....	43
Tabela 10: Características do Afluente e Efluente em P5 e P6 .....	44
Tabela 11: Estimativa da produção de biogás nas propriedades de CT.....	45



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACARESC	Associação de Crédito e Assistência Rural de Santa Catarina
CC	Ciclo Completo
CT	Crescimento e Terminação
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial Redox
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
FAPESC	Fundação de Apoio à Pesquisa Científica do Estado de Santa Catarina
GPS	<i>Global Position System</i> – Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
P1	Propriedade 1
P2	Propriedade 2
P3	Propriedade 3
P4	Propriedade 4
P5	Propriedade 5
P6	Propriedade 6
pH	Potencial Hidrogeniônico
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
PVC	Policloreto de Vinila
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UPL	Unidade de Produção de Leitões

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 GERAL .....	13
2.2 ESPECÍFICOS.....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1 A SUINOCULTURA .....	14
3.2 O BIOGÁS.....	15
3.3 DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	17
3.3.1 <i>Fundamentos da Digestão Anaeróbia</i> .....	17
3.3.2 <i>Fatores que influenciam na digestão anaeróbia</i> .....	19
3.4 BIODIGESTOR .....	23
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES ESTUDADAS .....	26
4.1.1 <i>Propriedades de CC</i> .....	26
4.1.2 <i>Propriedades de UPL</i> .....	28
4.1.3 <i>Propriedades de CT</i> .....	30
4.2 ANÁLISES EM CAMPO .....	31
4.2.1 <i>Equipamentos</i> .....	31
4.2.1.1 Dräger X-am 7000 .....	31
4.2.1.2 Termo-Anemômetro .....	32
4.2.2 <i>Medições em campo</i> .....	33
4.2.3 <i>Determinação das concentrações dos gases</i> .....	34
4.2.4 <i>Determinação da vazão</i> .....	35
4.3 ANÁLISES EM LABORATÓRIO.....	36
4.3.1 <i>Análise de sólidos</i> .....	36
4.3.2 <i>Demanda Química de Oxigênio(DQO)</i> .....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
5.1 PROPRIEDADES DE CC .....	38
5.2 PROPRIEDADES DE UPL .....	41
5.3 PROPRIEDADES DE CT.....	43
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2006), o Estado de Santa Catarina detém o maior rebanho de suínos do país, consistindo em uma atividade extremamente importante para o estado, pois além de agregar valor à produção de grãos da propriedade, permite um fluxo de recursos mais estável para os agricultores (MIRANDA, 2005).

A digestão anaeróbia de dejetos animais é um processo tecnicamente viável para redução dos impactos ambientais causados pelos despejos dos mesmos (NDEGWA et al, 2007). Uma alternativa utilizada para a primeira etapa de tratamento de dejetos suínos é o emprego do biodigestor, um equipamento composto por um tanque onde o dejetos é submetido à ação microbiana anaeróbia (ausência de oxigênio), e uma campânula em que fica armazenado o gás resultante do processo, o biogás.

O biogás é uma mistura gasosa, composta basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esta mistura é inodora, inflamável e de alto poder calorífico, ou seja, sua combustão gera grande quantidade de calor, e por este motivo, o biogás possui grande interesse como fonte energética. Apesar do enorme potencial energético que o biogás representa, até agora pouco se buscou utilizar esta fonte renovável de energia.

O presente trabalho tem o intuito de medir a quantidade e a composição do biogás produzido através da utilização de biodigestores, em propriedades produtoras de suínos no Estado de Santa Catarina.

O poder calorífico do biogás é função da quantidade de metano presente, sendo que uma maior quantidade deste composto confere maior poder calorífico ao biogás (ZAGO, 2003). Portanto, em qualquer estudo de viabilidade da utilização do biogás, deve-se levar em consideração além da quantidade produzida, a composição do mesmo. Este trabalho vem auxiliar neste ponto, caracterizando o biogás produzido em diferentes sistemas de criação de suínos, provendo dados para a realização de estudos referentes à viabilidade da utilização do biogás.

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos dados obtidos no projeto “Potencialidades da contribuição de Santa Catarina na redução de gases efeito estufa

através da conversão de metano em dióxido de carbono”, realizado pela parceria entre o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC e a FAPESC. O trabalho também teve suporte técnico da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e da Embrapa Suínos e Aves.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a produção e a composição do biogás, produzido através do emprego de biodigestores, em propriedades suinícolas no Estado de Santa Catarina.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar a produção e composição do biogás produzido nos diferentes sistemas de criação de suínos (CC, UPL, CT).
- Avaliar a interferência dos fatores físico-químicos na produção e composição do biogás.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A Suinocultura**

A suinocultura brasileira apresentou no ano de 2006 um crescimento de 3,3% em relação ao ano anterior, alcançando a marca de 35,2 milhões de cabeças (IBGE, 2006).

De acordo com Miranda (2005), o Brasil apresenta baixo valor de densidade de suínos, contando com cerca de 4,17 suínos por km<sup>2</sup>. No entanto, este não é um bom indicador de pressão da atividade (suinocultura) sobre o meio ambiente, pois há uma concentração muito elevada de animais em determinadas regiões, enquanto outras áreas esta atividade não apresenta números significativos.

A suinocultura brasileira apresenta-se competitiva no mercado internacional, pois possui um dos mais baixos preços de produção graças à combinação de tecnologia com um bom sistema de integração (MIRANDA, 2005).

O sistema de produção animal passou por diversas modificações no decorrer do tempo, com o intuito de suprir a demanda por alimentos desta origem. Os sistemas produtivos modernos indicam um modelo de confinamento em unidades restritas, resultando no aumento da escala de produção. Este modelo de produção acaba acarretando, em alguns casos, grandes problemas ambientais nas regiões produtoras, devido ao grande volume de dejetos gerados (KUNZ, S/D).

Segundo Konzen (2005), apenas as regiões sul, sudeste e centro-oeste concentram cerca de 84% do rebanho nacional de suínos, produzindo 207 milhões de toneladas de dejetos por ano. O estado de Santa Catarina detém o maior número de suínos, pouco mais de 20% do rebanho nacional, com cerca de 7,1 milhões de cabeças (IBGE, 2006).

De acordo com Silva (1996), os dejetos de suínos possuem elevadas concentrações de DQO (Demanda Química de Oxigênio), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Voláteis (STV), na ordem de 25.000 mg/L, 22.000mg/L e 16.000 mg/L, respectivamente. Nutrientes como o nitrogênio e o fósforo também estão presentes em concentrações elevadas, na ordem de 2.300 mg/L e 600 mg/L, respectivamente. Devido a estas características, os dejetos representam uma fonte de

fertilizante, mas também uma fonte potencial de poluição quando o manejo for inadequado. Quando os dejetos são manejados corretamente, constituem-se em uma alternativa econômica para a propriedade rural, produzindo o biofertilizante e evitando a contaminação do meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2000 apud ANGONESE et al., 2006).

A digestão anaeróbia pelo uso de biodigestores é uma forma de manejo dos dejetos suínos, a qual se difundiu rapidamente dentro da suinocultura. O processo de digestão anaeróbia apresenta algumas limitações, principalmente quando se trata do abatimento de nutrientes, o que exige um cuidado especial com os efluentes que saem do sistema, sendo necessário um tratamento complementar (KUNZ & OLIVEIRA, 2006).

### **3.2 O Biogás**

O biogás foi descoberto em meados de 1667 (CLASSEN et al, 1999 apud COSTA, 2006), ficando conhecido como gás dos pântanos, pois este emanava dos pântanos devido à grande quantidade de matéria orgânica degradada pela via anaeróbia. Mas foi apenas no ano de 1776, que o pesquisador italiano Alessandro Volta identificou a presença do metano ( $\text{CH}_4$ ) no biogás, através da decomposição de resíduos vegetais em ambiente confinado (ZAGO, 2003).

Apenas no começo do século passado, a China e a Índia passaram a desenvolver modelos próprios de biodigestores com a finalidade de produzir biogás, sendo estes alimentados principalmente por dejetos de animais (PECORA, 2006). De acordo com Comastri F<sup>o</sup> (1981), a produção de biogás através de biodigestores que são alimentados com dejetos de animais não apresenta problemas, uma vez que os excrementos dos animais possuem bactérias metanogênicas.

O biogás é uma mistura gasosa incolor, altamente inflamável, produzida geralmente pela digestão anaeróbia de dejetos de animais (COMASTRI F<sup>o</sup>, 1981). O biogás é formado basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de baixas concentrações de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (BELLI F<sup>o</sup>, 1995).

Sua composição apresenta variações em função do tipo de resíduo que é submetido ao processo de fermentação e do tipo de biodigestor utilizado, sendo o metano e o dióxido de carbono os principais constituintes do biogás (OLIVER, 2008). A composição típica do biogás é apresentada na Tabela 1, mostrada a seguir:

Tabela 1 – Composição do Biogás – Valores típicos

<i><b>Gás</b></i>	<i><b>% no Biogás</b></i>	
	CCE (2000)	Lagrange (1979)
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 – 80	50 – 70
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	20 – 40	35 – 40
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 – 3	0,5 – 3
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 – 3	1 – 3
Sulfídrico (H <sub>2</sub> S) e Outros	1 – 5	1 – 5

Fonte: Adaptado de CCE (2000) e LAGRANGE (1979)

Segundo Zago (2003), o poder calorífico do biogás situa-se na faixa de 5000 a 7000 Kcal/m<sup>3</sup>, sendo este valor função do grau de pureza do gás, ou seja, o percentual de metano presente na mistura. Um maior percentual de metano confere maior grau de pureza ao biogás, e conseqüentemente um poder calorífico mais elevado. Portanto o interesse da utilização do biogás como recurso energético deve-se pela presença de metano. No Quadro 1 a seguir, é mostrada a equivalência energética média de 1 m<sup>3</sup> de biogás.

O poder calorífico do biogás pode ser melhorado com a retirada do CO<sub>2</sub>, dissolvendo-o em água, podendo obter uma mistura com até 95% metano, e calor específico de 8.500 Kcal/m<sup>3</sup> (MACINTYRE, 1987).

**Quadro 1:** Equivalência Energética média de 1 m<sup>3</sup> de Biogás

<i><b>Produto</b></i>	<i><b>Equivalente</b></i>
Carvão de Lenha	0,735 a 1,5 kgf *
Óleo diesel	0,553 L
Gasolina comum	0,613 L
Álcool hidratado	0,790 L
Querosene	0,579 L
GPL	0,454 kgf
Energia Elétrica	1,428 Kwh

\* Conforme a presença de umidade

Fonte: Adaptado de Macintyre (1987)



Devido ao seu elevado poder calorífico, o biogás possui inúmeras utilidades, destacando-se no meio rural o uso em fogões domésticos e lampiões, combustível para motores de combustão interna, secadores de grãos e aquecimento de aviários (COMASTRI Fº, 1981). Segundo Silva et al (2005) a utilização do biogás no país é limitada devido a falta de equipamentos de linha comercial desenvolvidos para a utilização do biogás como combustível. Dos equipamentos em operação com biogás, boa parte deles são adaptados a partir de equipamentos dimensionados para uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

Conforme ZAGO (2003), a quantidade de biogás gerada através da biodigestão é dada em função do tipo de material fermentado e das condições do ambiente. Em biodigestores alimentados com dejetos de suínos, para a produção de 1 m<sup>3</sup> de biogás, são necessários 2,25 kg de dejetos. Também se pode fazer uma relação entre produção de biogás e número de animais, onde cada suíno é capaz de produzir 0,1431 m<sup>3</sup> de biogás por dia.

### **3.3 Digestão Anaeróbia**

#### *3.3.1 Fundamentos da Digestão Anaeróbia*

A digestão anaeróbia é um processo de oxidação da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, resultando na produção de metano e dióxido de carbono. Nesta forma de digestão ocorrem dois tipos de processos metabólicos: a fermentação e a respiração. Durante a fermentação, a oxidação da matéria orgânica ocorre sem a presença de um aceptor final de elétrons, enquanto na respiração são empregados aceptores de elétrons inorgânicos. A gênese do metano ocorre preferencialmente na ausência do oxigênio como aceptor de elétrons, pois em sua presença a matéria orgânica é degradada pela via aeróbia (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com Chernicharo (1997), a digestão anaeróbia abrange processos metabólicos bastante complexos, dividindo-se em diversas vias metabólicas e participação de variados grupos microbianos, conforme mostra o Figura 1.

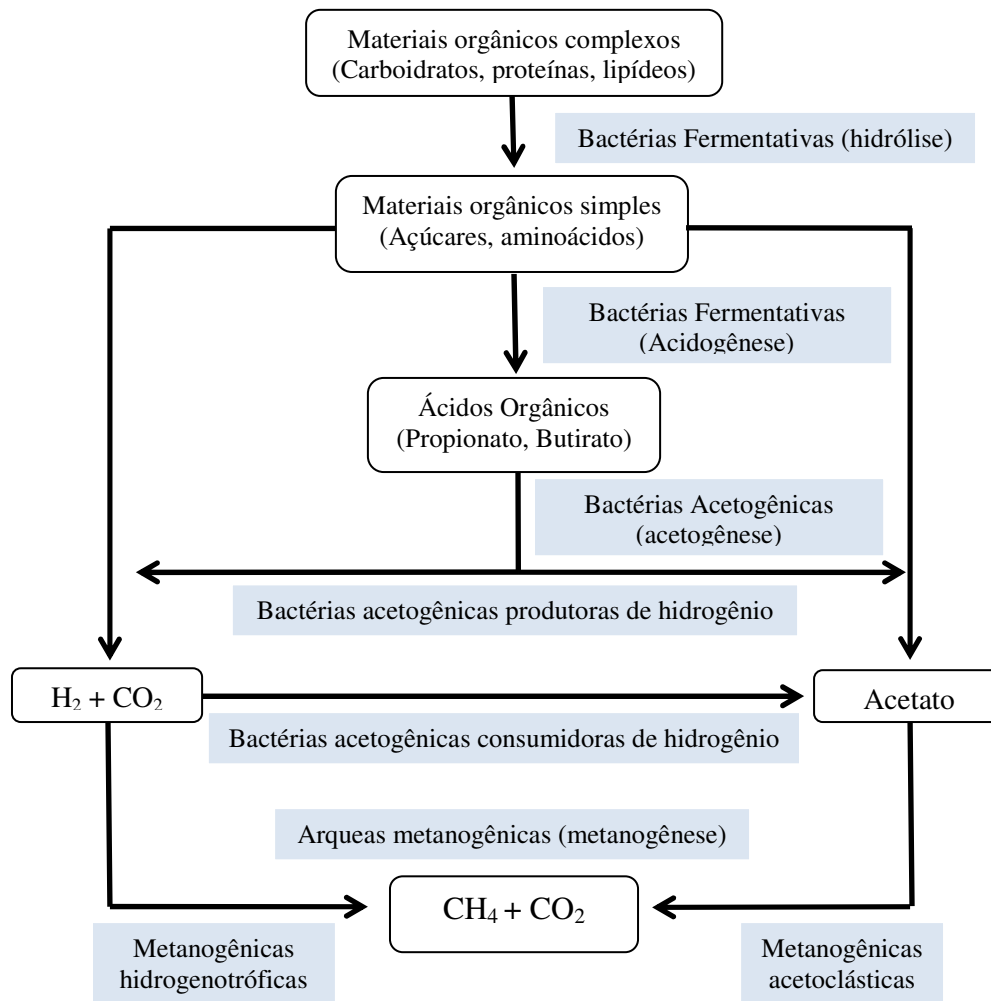


Figura 1: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia  
 FONTE: Adaptado de BELLI Fº (1995)

Dos variados grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia, Zago (2003) afirma:

*“Os organismos da biodigestão anaeróbia apresentam um elevado grau de especialização metabólica. A eficiência do processo anaeróbio depende, portanto, das interações positivas entre as diversas espécies bacterianas com diferentes capacidades degradativas. Os intermediários metabólicos de um grupo de bactérias podem servir como nutrientes ao crescimento de outras espécies.”*

As etapas da digestão anaeróbia são descritas por Chernicharo (1997) da seguinte forma:

a) Hidrólise: É a primeira etapa do processo de digestão anaeróbia, na qual os compostos orgânicos complexos são hidrolisados, resultando moléculas mais simples, permitindo sua passagem pela membrana celular das bactérias fermentativas. A hidrólise ocorre de forma lenta, podendo ser influenciada por diversos fatores, a exemplo: temperatura do reator, pH, tempo de detenção do substrato no reator, tamanho das partículas entre outros (Lettinga et al, 1996 apud Chernicharo, 1997).

b) Acidogênese: Os produtos solúveis resultantes da primeira etapa são metabolizados pelas bactérias fermentativas, sendo os primeiros a atuar na etapa sequencial de degradação do substrato. A acidogênese resulta em compostos simples, tais como ácidos orgânicos de cadeia curta, alcoóis, dióxido de carbono e hidrogênio.

c) Acetogênese: Os compostos resultantes da fase anterior são utilizados pelas bactérias acetogênicas, havendo grande produção de  $H_2$  e conseqüentemente um decréscimo no pH do meio. Ocorre a formação de hidrogênio e acetato, compostos importantes para a metanogênese.

d) Metanogênese: Fase final do processo de digestão anaeróbia, onde ocorre a formação de metano e dióxido através da ação das arqueobactérias metanogênicas. Este grupo de microrganismos é altamente especializado, além de anaeróbios estritos. Portanto, a ausência de oxigênio é um requisito importante para a produção do metano.

### *3.3.2 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia*

A produção do biogás e do biofertilizante através do uso digestão anaeróbia está sujeita à diversos fatores ambientais e de operação do biodigestor. As Arqueobactérias metanogênicas, responsáveis pela produção de metano, são sensíveis a variações de pH, temperatura e presença de compostos tóxicos (MAGALHÃES, 1986).

Segundo Chernicharo (1997), as características químicas e as condições físicas do ambiente influenciam o crescimento microbiano, sendo que os fatores físicos atuam como agentes seletores, enquanto as características químicas podem ou não atuar como seletores. Alguns fatores que influenciam a dinâmica das reações na digestão anaeróbia, afetando assim a produção do biogás, são comentados a seguir.

### *Temperatura*

Consiste em um dos fatores mais importantes na seleção de microrganismos e conseqüentemente na produção de biogás. A faixa ideal de temperatura para as bactérias metanogênicas é de 35°C, obtendo-se então uma maior produção de metano (ZAGO, 2003). Em baixas temperaturas, o processo de digestão anaeróbia fica prejudicado, principalmente no início do processo, devido à baixa velocidade de crescimento microbiano. Usualmente, têm sido adotados biodigestores que operam entre as temperaturas no intervalo de 30 a 40°C, pois esta faixa de temperatura promove condições favoráveis ao crescimento microbiano, além de garantir estabilidade ao processo devido as diversas situações de carga. A constância da temperatura também é um fator importante, pois grandes variações na temperatura perturbam o metabolismo dos microrganismos, podendo necessitar de vários dias para a recuperação do equilíbrio (CCE, 2000).

De acordo com Magalhães (1986), as variações bruscas de temperatura não são recomendadas no processo, sendo que até pequenas oscilações correspondentes entre o período diurno e noturno, com apenas 3°C, já é sentida no processo de biodigestão.

### *Potencial hidrogeniônico (pH)*

Segundo Chernicharo (1997), o ponto ótimo de crescimento dos organismos metanogênicos encontra-se na faixa de pH entre 6,6 e 7,4. No caso da biomassa estar com o pH abaixo do valor ideal, recomenda-se que o substrato passe por uma pré-fermentação aeróbia, com o intuito de atingir o pH ideal.

Dos grupos microbianos atuantes no processo de digestão anaeróbia, as bactérias metanogênicas apresentam maior sensibilidade a variações de pH, uma vez que as bactérias acidogênicas apresentam grande tolerância principalmente a baixos valores deste parâmetro, podendo a acidogênese ocorrer mesmo em situações de inibição da fase metanogênica. Os grupos microbianos responsáveis pela acidogênese possuem valores ótimos para pH entre 5,5 e 6,0. O pH em biodigestores anaeróbios é controlado pelo sistema de tamponamento por bicarbonato, sendo assim, o pH depende da pressão parcial do CO<sub>2</sub> e da concentração de componentes ácidos e básicos na fase líquida. (CCE, 2000).

Dessa forma, o controle do pH do processo objetiva a eliminação do risco de inibição dos microrganismos metanogênicos, evitando falhas no processo de formação do metano (CHERNICHARO, 1997).

### *Potencial Redox*

O potencial redox (Eh) é um parâmetro que identifica a capacidade de troca ou transferência de elétrons, ao qual é influenciado pela presença de oxigênio. O potencial de oxirredução é medido em mV de oxigênio, onde um ambiente de oxidação apresenta valor positivo para Eh, e um ambiente de redução apresenta valor negativo de Eh (MONTEIRO, 2005).

O biodigestor é um equipamento que permite um ambiente de anaerobiose, portanto o efluente apresenta um baixo valor de Eh (valor negativo). De acordo com Rouger (1987) citado por Henn (2005), as bactérias envolvidas nos processos de acetogênese e metanogênese são estritamente anaeróbias, exigindo potencial redox (Eh) inferior a -300 mV. Portanto, baixos valores de potencial redox indicam um bom andamento do processo de digestão anaeróbia, apresentando-se então, um parâmetro importante para o monitoramento da produção e composição do biogás.

De acordo com Belli F<sup>o</sup> (1995) citado por Monteiro (2005), a digestão anaeróbia possui uma faixa ótima entre -233 e -370 mV. Os valores de acidez, quando muito elevados, incrementam de maneira positiva os resultados de Eh (MONTEIRO, 2005).

## *Nutrientes*

Para o desenvolvimento microbiano é necessário a presença equilibrada de nutrientes, principalmente o carbono, nitrogênio, potássio e o fósforo. Portanto em alguns casos é necessária a introdução de alguns destes nutrientes para viabilizar o processo da biodigestão (MAGALHÃES, 1986).

De acordo com Zago (2003), os principais nutrientes são o carbono e o nitrogênio, onde o primeiro é responsável por fornecer energia e o segundo por possibilitar a formação das células, sendo indispensável à formação de proteínas. O carbono é consumido em uma taxa cerca de 30 vezes maior que o nitrogênio, sendo que a falta deste último impede a proliferação das bactérias, reduzindo a produtividade de gás metano.

Os dejetos suínos possuem uma relação carbono/nitrogênio próxima a 20:1, sendo que a relação ideal para a digestão anaeróbia é entre 20:1 e 30:1. Em geral o esterco de animais possui uma baixa relação C/N, pois possui grande quantidade de nitrogênio, que pode ser corrigido com a adição de resíduos vegetais, tais como, sabugo e palha de milho, serragem entre outros (COMASTRI F°, 1981).

Já o fósforo apesar de ser necessário para que o processo ocorra, sua concentração deve ser baixa, próximo da razão C/P de 150/1. O processo de digestão anaeróbia não é limitado pelo excesso de fósforo, no entanto sua ausência inibe o processo. Já o enxofre é um composto de pouca importância no processo de digestão anaeróbia, pois permite o desenvolvimento de microrganismos redutores de sulfato, acarretando na produção de gás sulfídrico ( $H_2S$ ) (CCE, 2000).

## *Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)*

O TRH é correspondente ao período determinado pela razão entre o volume do biodigestor e o volume de carga diária. Segundo Hohlfeld e Sasse (1986) citado por Gosmann (1997), o tempo de retenção hidráulica mais comum para dejetos suínos, em temperatura mesofílica, é de 15 a 25 dias. De acordo com Magalhães (1986), o tempo de retenção pode ser diminuído através da adição de nutrientes, aumento da temperatura ou pelo aumento da agitação.

### *Sólidos Totais*

A concentração de sólidos totais (ST) ou matéria seca compreendem um parâmetro fundamental para a fermentação metânica. Uma alta concentração de ST é interessante por duas razões principais; a primeira porque aumenta a concentração de bactérias metanogênicas acelerando o processo de formação do metano; e a segunda, reduz o tempo de retenção hidráulica, reduzindo assim as dimensões do biodigestor (MAGALHÃES, 1986).

O mesmo autor considera ideal uma concentração de sólidos nos dejetos de 8%, enquanto Zago (2003) considera uma variação de 8 a 10% de ST. Na Tabela 2, mostrada abaixo, apresenta a média do teor de matéria seca conforme o esterco animal.

Tabela 2: Quantidade de MS

<b>Animal Produtor</b>	<b>% de Matéria seca</b>
Bovinos	16,5
Suínos	19,5
Eqüinos	24,2
Ovinos	34,5
Caprinos	34,8
Aves (esterco fresco)	18
Aves (cama de aviário)	81

Fonte: LENZ (1980) apud ZAGO (2003)

Oliveira e Higarashi (2006) citando Scherer et al (1996), relatam que em estudos realizados em propriedades produtoras de suínos no oeste catarinense, foi observado que a quantidade de ST média foi de 3%. A razão deste baixo valor de sólidos totais se deve ao grande desperdício de água na lavagem das baias, dos bebedouros e vazamentos nas redes hidráulicas.

### **3.4 Biodigestor**

O biodigestor é uma câmara onde se processa a fermentação da matéria orgânica em condições anaeróbias, ou seja, sem a presença de oxigênio, resultando na produção de metano e biofertilizante. Além da câmara, o biodigestor também é

composto por uma campânula, de ferro, PVC ou fibra de vidro, com o intuito de armazenar o biogás produzido. Portanto, a utilização do biodigestor está associada a duas finalidades: a produção do biogás e a utilização do biofertilizante, composto rico em nutrientes, resultante da fermentação da matéria orgânica (MAGALHÃES, 1986).

A digestão anaeróbia é bastante conhecida e empregada em países como a China e Índia, que se tornaram pioneiras neste tipo de tecnologia (KUNZ & OLIVEIRA, 2006). No Brasil apesar do avanço no conhecimento da digestão anaeróbia e da operação do sistema, ainda faltam equipamentos específicos para a utilização do biogás, principalmente para seu emprego nas atividades da própria propriedade rural, como o aquecimento de aviários (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

A tecnologia da digestão anaeróbia através dos biodigestores foi trazida para o Brasil na década de 70, durante a crise do petróleo, com o intuito de oferecer uma nova opção energética. No nordeste do país foram cerca de 200 biodigestores, através da EMATER e do Ministério da Minas e Energia, que apesar da expectativa não alcançaram resultados satisfatórios (OLIVER, 2008). No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados para fins de saneamento rural, obtendo como produtos finais o biogás e o biofertilizante.

No estado de Santa Catarina a tecnologia da digestão anaeróbia foi estimulada através da Associação de Crédito e ACARESC, no início da década de 1980. Foram instalados cerca de 750 biodigestores, com o intuito de gerar energia, calor e tratar os dejetos de propriedades produtoras de suínos (MIRANDA, 2005).

Os modelos de biodigestores mais comumente utilizados são do tipo chinês, indiano e filipino, os quais podem ser alimentados de duas formas, contínua ou em batelada (descontínuo) (GOSMANN, 1997). De acordo com Sganzerla (1983) citado por Gaspar (2003), a alimentação do biodigestor com dejetos de bovinos proporciona um ambiente favorável à proliferação de bactérias metanogênicas, produzindo maior quantidade de biogás em relação a biodigestores alimentados com dejetos de outros animais. Sendo assim, o autor recomenda que o início da operação de um biodigestor seja feita com dejetos de bovinos, com o intuito de estabelecer a população de



bactérias metanogênicas, para então alimentar o biodigestor com dejetos de outros animais, se esta for a intenção.

De acordo com Oliveira e Higarashi (2006), a conversão da biomassa em metano pode acontecer em três faixas de temperatura; a biometanização termófila ocorre entre 45 e 60°C, a mesófila entre 20 e 45°C e a psicrófila se dá em temperaturas menores que 20 °C. Grande parte dos biodigestores em funcionamento foi projetada para a faixa mesófila, embora a operação de biodigestores na faixa termófila seja possível, há muitos empecilhos técnicos que inviabilizam sua construção, como o aquecimento para trabalhar em tal faixa e a instabilidade do processo.

Angonese et al (2006) realizou estudos utilizando um biodigestor formado por três tanques cilíndricos com volume total de 50 m<sup>3</sup>, alimentado continuamente com dejetos suínos, avaliando a remoção de alguns parâmetros como DQO, ST, STV nitrogênio, fósforo entre outros. Utilizando um tempo de retenção hidráulica de 12 dias, o autor constatou a remoção de DQO, ST e SVT de 77%, 43% e 59%, respectivamente. A grande limitação da utilização desta tecnologia de saneamento rural encontra-se na remoção de nutrientes, que na maioria das vezes não atende à legislação. Quanto à produção de biogás, a média dos seis meses de funcionamento do sistema foi de 31,5 m<sup>3</sup> por dia.

## **4. METODOLOGIA**

O trabalho foi realizado em dois momentos distintos. O primeiro foi a realização de visitas a campo para conhecer as propriedades, sendo aplicado um questionário, para a obtenção de dados relevantes para a pesquisa; e em um segundo momento, as idas a campo tiveram o intuito de realizar as medições relativas ao biogás produzido nos biodigestores e as coletas do efluente. A metodologia descrita, assim como os dados utilizados neste trabalho, foi baseada no trabalho de Gusmão (2008), o qual foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina.

### **4.1 Caracterização das propriedades estudadas**

As propriedades estudadas situam-se em regiões onde a suinocultura é uma atividade representativa no desenvolvimento local. Conforme a metodologia adotada, a escolha das propriedades foi realizada a fim de estudar os diferentes tipos de criações, comparando-os com outras propriedades com mesmo sistema de criação. Este trabalho foi realizado em 6 propriedades criadoras de suínos no Estado de Santa Catarina, sendo 2 propriedades para cada tipo de criação: ciclo completo (CC), unidade de produção de leitões (UPL) e crescimento e terminação (CT).

#### *4.1.1 Propriedades de CC*

As propriedades de ciclo completo são aquelas em que os suínos passam pelas fases de gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação. Ambas as propriedades de ciclo completo localizam-se no município de Braço do Norte, sul do estado de Santa Catarina. A Tabela 3 apresenta os dados das características das propriedades visitadas.

A propriedade P1 possui cerca de 40 matrizes e 300 animais ao total, apresentando um sistema de manejo de dejetos composto por esterqueira, biodigestor e lagoa de armazenamento. O biogás produzido no biodigestor fica confinado no mesmo devido à campânula. Quando a pressão na campânula é elevada o biogás

Tabela 3: Caracterização das propriedades de CC

Propriedade	Município	Localização (GPS)	Número de Animais	Biodigestor		
				Volume (m <sup>3</sup> )	TRH <sup>1</sup> (dias)	Uso do Biogás
P1	Braço do Norte	Latitude 28°13'57,3''S Longitude 49°06'28,5''O Altitude: 416m	400	90	30	Queima
P2	Braço do Norte	Latitude 28°14'13,43''S Longitude 49°13'43''O Altitude: 290m	5800	4000	40	Queima

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

<sup>1</sup> Valores teóricos de Projeto

vence a barreira imposta pelo selo hídrico, e o excedente de gás é liberado para a atmosfera, portanto não há qualquer tipo de aproveitamento do metano gerado. A existência então do selo hídrico impede pressões elevadas no interior da campânula, evitando que a mesma seja danificada. Na Figura 2 é mostrado o biodigestor da P1 e a tubulação que liga a campânula ao selo hídrico.



Figura 2: Sistema de Tratamento – P1

A propriedade P2 possui um efetivo de 5.800 suínos, e 480 matrizes. O sistema de tratamento adotado consiste em um biodigestor com capacidade volumétrica de 4.000 m<sup>3</sup>, seguido de uma lagoa anaeróbia para o armazenamento dos dejetos. O

biogás produzido no biodigestor (Figura 3) é encaminhado por uma tubulação até o selo hídrico, e então até o queimador (Figura 4).



Figura 3: Biodigestor da P2



Figura 4: Queimador na P2

O queimador, mostrado na figura 4, possui uma célula fotovoltaica que permite prover energia para o acendimento automático da chama. Quando a pressão no biodigestor atinge determinado valor, o sensor de pressão envia um sinal para ligar a faísca e liberar a saída do biogás do biodigestor para o queimador, ocorrendo a queima do mesmo.

#### *4.1.2 Propriedades de UPL*

As duas propriedades de UPL escolhidas como objeto de estudos para este trabalho situam-se no município de Concórdia, no Oeste Catarinense. Esta região apresenta sérios problemas de contaminação dos corpos hídricos, uma vez que as algumas pequenas propriedades da região não possuem capacidade suficiente de absorver os dejetos produzidos, na adubação de lavouras (TESTA, 1996 apud TAKITANE, 2001). A Tabela 4 apresenta os dados das propriedades visitadas, incluindo as características do biodigestor e a quantidade de suínos existentes na propriedade.

Tabela 4: Caracterização das propriedades de UPL

Propriedade	Município	Localização (GPS)	Número de Animais	Biodigestor		
				Volume (m³)	TRH <sup>1</sup> (dias)	Uso do Biogás
P3	Concórdia	Latitude 27°10'59''S Longitude 51°53'59,6''O Altitude: 762m	760	308	-	Queima
P4	Concórdia	Latitude 27°12'29,2''S Longitude 52°7'58,6''O Altitude: 480m	335	308	-	Queima

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

<sup>1</sup> Valores teóricos de Projeto

Ambas as propriedades da modalidade UPL possuem o mesmo sistema de tratamento, composto por um biodigestor Modelo Canadense, seguido de uma lagoa para o armazenamento dos dejetos. Na Figura 5, é mostrado o biodigestor à esquerda e o queimador à direita, os quais estão instalados na propriedade P4. Os biodigestores possuem um medidor de pressão, que quando atinge o valor de 15 mm de coluna de água, devido ao acúmulo de gás no seu interior, libera a saída do gás para o queimador.



Figura 5: Biodigestor e queimador da Propriedade P4

#### 4.1.3 Propriedades de CT

A fase de crescimento é definida pelo período de criação do suíno, desde a saída da fase de creche até o alojamento no setor de terminação. Já o período de terminação corresponde desde a saída da fase de crescimento até a saída para o abate, quando o animal chega a atingir cerca de 100 kg, podendo em alguns casos chegar aos 120 kg de peso vivo (OLIVEIRA, 2005).

As características das propriedades de CT estudadas são mostradas na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5: Características das propriedades de CT						
Propriedade	Município	GPS	Número de Animais	Biodigestor		Uso do Biogás
				Volume (m³)	TRH <sup>1</sup> (dias)	
P5	Concórdia	Latitude 27°11'21,6''S Longitude 52°06'33,3''O Altitude: 607m	600	235	40	Queima
P6	Concórdia	Latitude 27°12'12,9''S Longitude 52°06'58,5''O Altitude: 553m	590	123	40	Queima

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

<sup>1</sup> Valores teóricos de Projeto

Os biodigestores das propriedades P5 e P6 são análogos aos encontrados nas propriedades UPL, tanto em modelo como em modo de funcionamento.

Nas Figuras 6 e 7 mostradas a seguir, são mostradas as unidades de tratamento dos dejetos suínos da P5.



Figura 6: Biodigestor P5



Figura 7: Lagoa de armazenamento da P5



O sistema de manejo dos dejetos da P6 é composto por um biodigestor com capacidade volumétrica de 123 m<sup>3</sup> (Figura 8), e uma lagoa de armazenamento no formato circular.



Figura 8: Propriedade P6

## 4.2 Análises em campo

As medições em campo foram realizadas durante o período de verão, entre janeiro e abril de 2008. As análises do biogás realizadas no projeto contemplam dois aspectos, avaliar a sua composição e estimar a sua produção.

Para a manipulação dos dados obtidos das medições em campo utilizou-se o programa Microsoft Excel, permitindo a apresentação dos dados em gráficos e tabelas.

### 4.2.1 Equipamentos

#### 4.2.1.1 *Dräger X-am 7000*

As medições acerca da composição do biogás foram realizadas por meio de um medidor portátil *Dräger X-am 7000*, o qual é mostrado na Figura 9. O equipamento é capaz de efetuar a detecção de até 5 gases simultaneamente, podendo ser equipado com sensores eletroquímicos, catalíticos ou infravermelhos. O equipamento possui uma bomba interna, permitindo a sucção do gás a ser analisado.



Figura 9: Dräger X-am 7000

Com o aparelho foram realizadas as análises dos seguintes gases:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ . A avaliação do teor de  $\text{H}_2\text{S}$  não pôde ser realizada, pois sua concentração foi muito elevada, ultrapassando o limite superior do sensor de  $\text{H}_2\text{S}$ . A concentração do  $\text{CH}_4$  e do  $\text{CO}_2$  é expressa em termos de percentagem, podendo variar de 0 a 100%. O oxigênio também é dado na forma de percentual, no entanto este varia de 0 a 25%. O sensor de  $\text{H}_2\text{S}$  apresenta a concentração do gás em ppm, sendo que o sensor presente no aparelho variava de 0 a 1000 ppm.

#### 4.2.1.2 Termo-Anemômetro

O termo-anemômetro *Airflow TA45* (Figura 10) foi utilizado para conhecimento tanto da velocidade com da temperatura do gás. Dessa forma, é possível estimar a produção do biogás, pois, fazendo-o passar por uma seção conhecida e sabendo-se a sua velocidade, é possível determinar a vazão. O aparelho também foi utilizado para a medição da temperatura ambiente.



Figura 10: Termo-Anemômetro *Airflow TA45*



O equipamento possui uma haste, em que na extremidade encontra-se o sensor responsável pela medição. O aparelho é capaz de medir a velocidade de escoamento de um gás entre o intervalo de 0 a 30 m/s.

#### 4.2.2 Medições em campo

Através dos equipamentos descritos anteriormente, foram realizadas as medições da composição e da quantidade do biogás produzido nas propriedades. O *Dräger X-AM 7000* foi empregado para a análise da concentração dos gases componentes do biogás, sendo necessária a construção de um sistema que liga o aparelho à saída do biodigestor, possuindo duas finalidades; a primeira de tornar o fluxo de gás laminar, evitando zonas de turbulência e permitindo a correta leitura por parte do aparelho; e a segunda como uma forma de padronizar todas as medições.

O sistema construído consiste de uma tubulação de PVC rígido, com 1 m de comprimento e 60 mm de diâmetro externo. Esta tubulação apresenta dois orifícios, um deles para permitir a entrada do sensor do anemômetro, para medição de velocidade e temperatura do gás. O outro tem a finalidade de receber a mangueira da bomba do medidor de gases, para fazer a amostragem do biogás e determinar a sua composição.

Uma das extremidades da tubulação possui um registro, enquanto a outra possui uma adaptação para uma mangueira plástica de  $\frac{3}{4}$  de polegada, na qual é acoplada a tubulação que origina do biodigestor. Na figura 11 abaixo, pode-se conferir o sistema adotado para a realização das medições.



Figura 11: Sistema utilizado para a efetuação das medições

Na Figura 11, o biogás proveniente do biodigestor é conduzido pela mangueira plástica entrando na tubulação padrão, onde a bomba do *Dräger X-AM 7000* succiona parte do gás para a medição de sua composição. Foi adotado um tempo de medição de 1 hora tanto durante o turno matutino quanto no turno vespertino, sendo que são registrados os valores da composição do biogás a cada 30 segundos e armazenados no datalogger do aparelho. Os dados armazenados no datalogger são transferidos para o computador, onde então podem ser visualizados.

A velocidade de saída do gás e sua temperatura foram determinadas com o auxílio do termo-anemômetro, através do orifício na tubulação padrão adotada. Este equipamento é colocado perpendicularmente ao fluxo do biogás, sendo feitas medições antes e depois da análise do biogás.

Além das medições da quantidade e composição do biogás, foram realizadas análises dos efluentes (dejetos), afluente e efluente ao biodigestor. Os parâmetros analisados foram: pH, potencial redox, temperatura. A leitura destes parâmetros foram realizados através do pHmetro *Hanna Instruments* modelo *HI991003*.

#### 4.2.3 Determinação das concentrações dos gases

A determinação da concentração dos gases é dada diretamente pelo *Dräger X-AM 7000*, em percentual de cada gás. No entanto, durante a medição dos gases constituintes do biogás, verificou-se que a soma dos valores ultrapassavam os 100%. Isto ocorre devido à independência de cada sensor, onde cada um deles mede a concentração do gás do qual é destinado, independente da existência de outros gases. Além disso, a soma dos valores dos gases constituintes não é um número constante para todas as propriedades, dificultando a aplicação de algum método para correção destes valores. Desta forma, serão utilizados os valores encontrados pelo aparelho, optando por não os corrigir.

Devido ao fato de serem feitas duas medições por propriedade, sendo uma pelo período da manhã e outra pela tarde, para a determinação da concentração de cada gás foi utilizada a média entre as duas medições realizadas no mesmo dia.

#### 4.2.4 Determinação da vazão

A produção de biogás foi avaliada através de medições de velocidade de passagem do gás, por uma secção conhecida. A velocidade de passagem do biogás utilizada foi uma média entre as quatro medidas encontradas, sendo duas no período da manhã e duas no período da tarde. No ponto de medição de velocidade a tubulação possui DN de 60 mm, e diâmetro interno de 53,4 mm. As leituras de velocidade foram feitas da seguinte forma: uma anterior a instalação do aparelho *Dräger X-AM 7000*, logo ao abrir a válvula de saída do biogás, e outra após o período de 1 hora, correspondente ao tempo de medição da composição do biogás.

Portanto, o valor da produção de biogás é baseado na média de velocidades encontradas em um dia de medições, apresentando então um valor estimado de vazão em relação à medição pontual.

Assumindo que o biogás possui comportamento de um gás perfeito, é possível determinar sua vazão nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), corrigindo-se com o valor de temperatura do biogás no biodigestor e a pressão atmosférica local. A determinação da vazão normalizada é dada pela equação 1, apresentada abaixo:

$$Q = (V_m \times A) \times \frac{273,15}{273,15 + T} \times P \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Q: Vazão do biogás (N.m<sup>3</sup>/s)

V<sub>m</sub>: Velocidade média de saída do biogás (m/s)

A: Área da seção de passagem do fluido (m<sup>2</sup>)

T: Temperatura de saída do biogás (°C)

P: Pressão atmosférica (bar)

### 4.3 Análises em laboratório

No trabalho de campo, também foram coletadas amostras dos dejetos, afluente e efluente ao biodigestor, para realizar os parâmetros DQO, sólidos totais, sólidos fixos totais e sólidos voláteis totais.

As análises foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), seguindo os procedimentos do *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1998).

A coleta dos dejetos foi realizada no mesmo dia das medições do biogás, tendo sido coletado uma amostra na entrada do biodigestor e outra na saída do mesmo. Estas amostras foram utilizadas para a determinação da DQO e da série de sólidos. As amostras destinadas para a determinação de DQO foram acidificadas para conservá-las, permitindo que a análise fosse feita posteriormente.

#### 4.3.1 Análise de sólidos

A série de sólidos realizada envolveu os sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis. Para suas determinações, foram utilizados os seguintes equipamentos: estufa da marca *Deleo* tipo quatro, mufla da marca *Quimis*, modelo *Q3182d24* e chapa de aquecimento modelo *DB-II* da marca *Vertex*. Para a determinação da série de sólidos foi utilizado 10 mL de efluente de cada ponto de coleta.

#### 4.3.2 Demanda Química de Oxigênio(DQO)

Para a determinação da demanda química de oxigênio foi utilizado o método colorimétrico. Para a digestão da amostra, foi utilizado um bloco de aquecimento *Hanna Instruments*, modelo *COD-Reator HI 839800*, e a leitura foi realizada em um espectrofotômetro *Hach*, modelo *DR 4000*.

Os dejetos de suínos apresentam grande concentração de DQO, sendo então necessário fazer diluições para a determinação deste parâmetro. Para a propriedade P1, foram utilizadas as diluições de 200 vezes para o dejetos bruto e 20 vezes para o efluente ao biodigestor. Para a propriedade P2, as amostras foram diluídas 20 vezes tanto para o afluente quanto para o efluente do biodigestor. As demais amostras tiveram o afluente e o efluente do biodigestor diluídas em 100 vezes.

A determinação da DQO foi obtida pela média das concentrações da amostra e sua duplicata, visando reduzir os erros analíticos ou sistemáticos. Os resultados deste parâmetro são apresentados em mg DQO. L<sup>-1</sup>.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho de campo foi realizado no período de janeiro a março de 2008 para coleta de dados e de amostras. As análises laboratoriais foram concluídas no intervalo de janeiro a maio de 2008. Os resultados dos dados obtidos em campo serão apresentados em forma de tabelas e gráficos, para melhorar o entendimento e permitir com maior facilidade a comparação dos resultados entre propriedades com o mesmo sistema de produção de suínos.

### 5.1 Propriedades de CC

As duas propriedades de CC estudadas localizam-se no município de Braço do Norte, situado no sul do estado de Santa Catarina. Esta região apresenta grande quantidade de propriedades criadoras de suínos, fato que levou a escolha destas propriedades devido à importância da atividade na região.

O gráfico da figura 12 apresenta os resultados da composição média do biogás observados nas propriedades de CC estudadas. Os valores de metano e de dióxido de carbono observados estão apresentados em percentagem, obtidos a partir dos dados obtidos através do *Dräger X-AM 7000*.

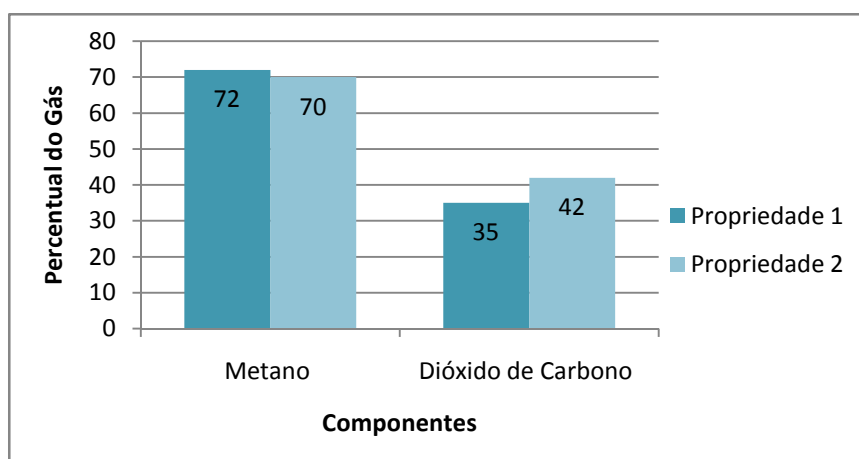


Figura 12: Gráfico da composição do biogás em P1 e P2

Em relação às análises de campo dos dejetos, a tabela 6 apresenta os parâmetros do afluente e efluente para os biodigestores cujo sistema de produção é do tipo ciclo completo.

Apesar da grande diferença em relação à composição dos dejetos entre as propriedades, os teores de metano observados foram semelhantes, tendo P1 apresentado 72%, enquanto na P2 foi obtido o valor de 70%. Segundo dados apresentados em literatura, o teor de metano observado nas propriedades de CC é considerado ótimo, pois se encontra na faixa de 50 a 80% (CCE, 2000).

Tabela 6: Características do Afluente e Efluente em P1 e P2

Parâmetro		Propriedade	
		P1	P2
<b>pH</b>	Afluente	7,75	7,91
	Efluente	7,69	7,39
<b>Temperatura (°C)</b>	Afluente	22,5	21,6
	Efluente	23,4	20,7
<b>Potencial Redox (mV)</b>	Afluente	-351	-390
	Efluente	-239	-359
<b>DQO (mg/L)</b>	Afluente	112.460	50.815
	Efluente	3.050	3.405
<b>ST (mg/L)</b>	Afluente	60.265	16.825
	Efluente	2.110	2.510
<b>SVT (mg/L)</b>	Afluente	41.005	12.495
	Efluente	760	950

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

Quanto a diferença em relação à composição dos dejetos, a propriedade P1 utiliza a raspagem dos dejetos para a limpeza das baías, enquanto a propriedade P2 utiliza além da raspagem, água para a limpeza. Isto acarreta em maior quantidade de sólidos voláteis em P1, enquanto os dejetos de P2 apresentaram-se mais diluídos, resultando em uma quantidade menor de SVT. Para o processo de digestão anaeróbia, uma grande diluição do efluente é prejudicial, reduzindo a quantidade de sólidos totais e voláteis, alterando a eficiência da conversão da matéria orgânica em biogás. Neste caso, apesar das propriedades apresentarem o mesmo sistema de criação, suas características são bastante distintas, seja no manejo dos dejetos e no número de animais. Deste modo, fica difícil comparar as propriedades, sendo apenas possível fazer algumas observações entre elas.

Na P2 foi obtida uma maior quantidade de CO<sub>2</sub>, uma vez que os dejetos são mais diluídos em relação a P1. Os teores de oxigênio em ambas as propriedades foram baixos, não ultrapassando 0,8% em P1 e 0,3% em P2.

O potencial redox verificado em ambas as propriedades de ciclo completo apresentam-se dentro da faixa ótima recomendada pela literatura, indicando condições propícias à anaerobiose. Como as bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias, o baixo valor de Eh pode explicar os bons resultados de metano encontrado em ambas as propriedades. Além do potencial redox, um parâmetro com relevante importância é o pH, que em ambas propriedades encontrou-se pouco acima do recomendado, entre 6,4 e 7,4 (CHERNICHARO, 1997) . No entanto, os valores de pH encontrados não afetaram de forma perceptível a composição do biogás. Já a temperatura dos dois biodigestores situou-se na faixa mesófila (entre 20°C e 45°C), devido ao clima na região, e resultaram em valores ótimos de composição do biogás. A temperatura é um parâmetro que possui mais influência na velocidade de conversão da matéria orgânica em biogás, interferindo com maior intensidade na sua produção.

O sistema de tratamento da P1 apresentou grande eficiência na remoção de DQO, na ordem de 97%, e remoção de ST de 96,5%. O sistema da P2 apresentou remoção de 93,3% de DQO e 85% de ST. Os valores de remoção são elevados para a utilização do biodigestor, no entanto como se trata de uma amostragem pontual, as amostras podem apresentar algumas particularidades do dia da coleta. Mesmo com altas taxas de remoção, o efluente dos biodigestores das duas propriedades apresenta valores ainda altos de DQO e ST, por isso são armazenados em lagoas para o posterior aproveitamento como biofertilizante nas lavouras.

Os valores da produção estimada de biogás estão apresentados na Tabela 7, onde também é mostrado o indicador m<sup>3</sup> de biogás produzido por m<sup>3</sup> de biodigestor. Observa-se que a produção estimada de biogás na P2 é numericamente muito superior a P1, no entanto há uma grande diferença no número de animais existentes nas propriedades. Enquanto a P1 apresenta cerca de 300 animais e 40 matrizes, a P2 possui 5800 animais, dos quais 480 matrizes, favorecendo deste modo a produção em P2.



Tabela 7: Estimativa da produção de Biogás nas Propriedades de CC

Propriedade	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/d)	m³ biogás /
P1	1,6	38,4	0,43
P2	4,5	108	0,03

Apesar do alto valor de produção de biogás atingido por P2, sua relação de m³ de biogás por m³ de biodigestor é muito inferior ao apresentado em P1. Zhang et al. (1990) citado por Angonese et al (2006), obteve uma produção de biogás de 0,57 m³ por m³ de biodigestor, enquanto Feiden et al (2004) apud Angonese et al (2006) obteve 0,298 m³ de biogás por m³ de biodigestor. A propriedade P1 alcançou o índice de 0,43 m³ de biogás por m³ de biodigestor, que de acordo com a literatura está dentro das expectativas, enquanto na P2 o baixo valor pode ser atribuído ao reduzido teor de sólidos voláteis, o que teria prejudicado a conversão da matéria orgânica em biogás.

## 5.2 Propriedades de UPL

As propriedades P3 e P4 (UPLs) situam-se no município de Concórdia – SC e apresentam sistemas de tratamento idênticos, com biodigestores de mesmas dimensões (308 m³), apenas diferenciando-se no número de animais, sendo 760 e 335 animais respectivamente. Os resultados obtidos das medições em campo acerca da composição do biogás nas propriedades de UPL são demonstrados na Figura 13. Os valores encontrados para o oxigênio em ambas as propriedades são inexpressivos.

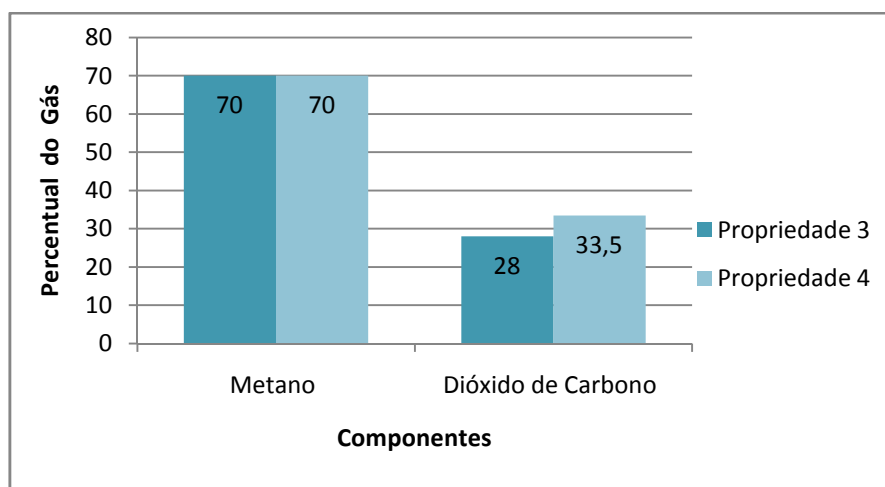


Figura 13: Gráfico da composição do Biogás nas propriedades de UPL

As amostras do biogás produzido nas propriedades de UPL apresentaram composições semelhantes, apesar dos dejetos gerados em P3 e P4 resultarem em características físico-químicas bem distintas, as quais são mostradas na Tabela 8.

O potencial redox do efluente do biodigestor da P4 apresentou um valor de -71 mV, que pode ser considerado alto, uma vez que o afluente do biodigestor apresenta um valor baixo de Eh (-306mV). Além disso, o biodigestor proporciona um ambiente anaeróbio, fazendo com que o potencial redox na saída da unidade permaneça próximo do valor de entrada ou um valor mais baixo. Uma hipótese que pode ser evidenciada seria o erro de amostragem em relação ao efluente do biodigestor, uma vez que este apresentou bons índices de remoção de DQO e sólidos, respectivamente 95% e 91%.

Um ponto relevante foi o acentuado aumento do pH do efluente da P4. Outro erro de amostragem pode ser constatado na série de sólidos da P3 em que foi averiguado um valor maior de sólidos no efluente do biodigestor.

Tabela 8: Características do Afluente e Efluente em P3 e P4

Parâmetro		Propriedade	
		P3	P4
<b>pH</b>	Afluente	7,88	6,49
	Efluente	7,51	8,21
<b>Temperatura (°C)</b>	Afluente	25,1	23,8
	Efluente	26,4	22,9
<b>Potencial Redox (mV)</b>	Afluente	-376	-306
	Efluente	-387	-71
<b>DQO (mg/L)</b>	Afluente	7.590	65.740
	Efluente	4.370	2.965
<b>ST (mg/L)</b>	Afluente	4.090	36.550
	Efluente	5.800	3.100
<b>SVT (mg/L)</b>	Afluente	2.270	24.540
	Efluente	2.480	1.070

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

Os teores de metano encontrados em ambas as localidades estão na faixa ótima citada na literatura. Os resultados referentes à estimativa da produção de biogás, mostrados na Tabela 9, também apresentaram valores satisfatórios.

Tabela 9: Estimativa da Produção de Biogás nas propriedades de UPL

Propriedade	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/d)	m³ biogás /
<b>P3</b>	6,1	146,4	0,48
<b>P4</b>	5,13	123,12	0,40

Os ótimos resultados obtidos pela propriedade P3 deve-se à boa condição de anaerobiose que o biodigestor proporciona para a digestão anaeróbia, com potencial redox entre -376 e -387 mV. As temperaturas do afluente e do efluente ao biodigestor, também contribuiu para os resultados obtidos, variando de 25,1°C a 26,4°C em P3 e de 23,8 a 22,9°C em P4.

A produção de biogás nas propriedades de UPL apresentou valores semelhantes, sendo que P3 possui um valor pouco maior devido ao maior número de animais. O valor do indicador m³ biogás por m³ biodigestor encontrado nas propriedades de UPL foram semelhantes, prevalecendo maior produção em P3 que apresentou condições melhores para a digestão anaeróbia, apesar dos dejetos possuírem baixo teor de sólidos voláteis em relação a P4.

### 5.3 Propriedades de CT

As propriedades de CT apresentaram os valores de composição do biogás conforme mostra o gráfico da Figura 14. Das propriedades estudadas, o sistema de CT apresentou as maiores diferenças na composição do biogás. Os dejetos também apresentaram valores bastante distintos de DQO e da série de sólidos, sendo o dejetos bruto da P6 mais concentrado, dificultando até mesmo a coleta das amostras, enquanto o dejetos da P5 era menos viscoso. Isto ocorre, pois o manejo das instalações em que os suínos permanecem alojados é geralmente um fator determinante para as características dos dejetos que entram no biodigestor, evidenciando diferentes manejos empregados entre as propriedades P5 e P6. Os valores de oxigênio encontrados nas duas propriedades foram inexpressivos, sendo apresentados no gráfico da Figura 14 apenas os valores referentes ao CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

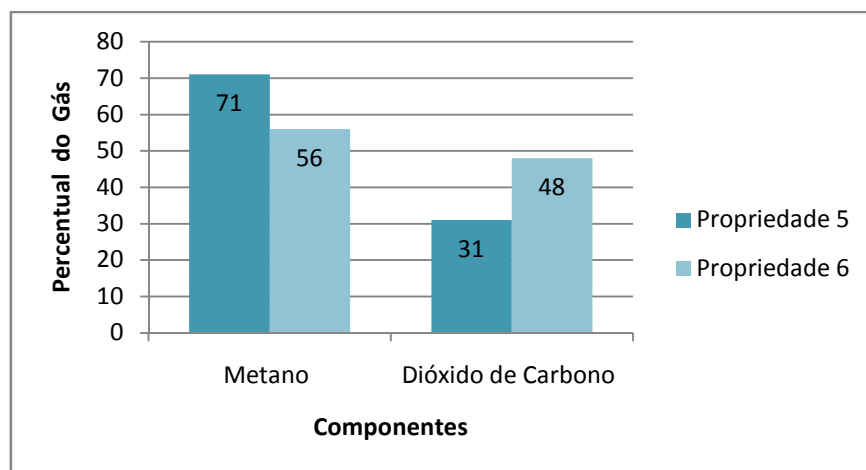


Figura 14: Gráfico da composição do Biogás nas propriedades de CT

As características dos afluentes e efluentes ao biodigestor, levantadas pelas análises laboratoriais, são apresentadas na Tabela 10. De modo geral, os parâmetros analisados demonstram que o ambiente é favorável ao processo anaeróbio, com destaque para os valores negativos de potencial redox de ambas as propriedades e as temperaturas atingidas em P5.

Tabela 10: Características do Afluente e Efluente em P5 e P6

Parâmetro		Propriedade	
		P5	P6
pH	Afluente	7,48	8
	Efluente	7,75	7,7
Temperatura (°C)	Afluente	26,8	21,8
	Efluente	26,3	22,3
Potencial Redox (mV)	Afluente	-388	-317
	Efluente	-390	-387
DQO (mg/L)	Afluente	51.970	101.530
	Efluente	9.830	62.100
ST (mg/L)	Afluente	54.950	152.180
	Efluente	11.540	46.000
SVT (mg/L)	Afluente	35.300	116.660
	Efluente	3.740	29.920

Fonte: Adaptado de GUSMÃO (2008)

As propriedades de CT apresentaram valores bastante distintos tanto de composição quanto de produção de biogás, sendo que a propriedade P6 apresentou valores discrepantes se comparada às demais propriedades estudadas. Apesar do valor da composição do biogás estar dentro do intervalo recomendado pela literatura,

o valor encontrado foi aquém do esperado, uma vez que as demais propriedades apresentaram valores de 70 a 72% de metano. Apesar de o efluente apresentar ótimas condições de anaerobiose, e alto teor de sólidos voláteis, na ordem de 150.000 mg/L, o valor encontrado de 56% de CH<sub>4</sub> e 48% de CO<sub>2</sub> indica que o processo não está ocorrendo de forma adequada. Pode-se observar que a remoção de DQO é baixa em relação aos demais biodigestores estudados, alcançando apenas 38,8% de eficiência. Outros parâmetros que podem influenciar no processo da digestão anaeróbia como a temperatura e pH, também situam-se em uma faixa aceitável. Como este biodigestor estava operando a pouco tempo, provavelmente os microrganismos, principalmente metanogênicos, ainda não haviam se adaptado ao meio, resultando no biogás com teor reduzido de metano.

O biogás analisado na P5 demonstrou um alto teor de metano (71%), pois foram constatadas condições favoráveis ao processo de digestão anaeróbia, como pH próximo da neutralidade e temperaturas na faixa mesófila, variando entre 26,3°C e 26,8°C. O biodigestor presente na P5 obteve ótimo desempenho na remoção de DQO e SVT, alcançando respectivamente uma eficiência de remoção de 81% e 89%. Outro fator importante foram os valores encontrados para o potencial redox (-388 e -390mV), os quais indicam um meio redutor, ideal para a formação do metano. Da mesma forma, os valores da estimativa de produção de biogás em P5 também foram satisfatórios, conforme demonstra a Tabela 11, que apresenta os resultados obtidos da produção estimada de biogás nas propriedades de CT.

Tabela 11: Estimativa da produção de biogás nas propriedades de CT

<b>Propriedade</b>	<b>Vazão (m³/h)</b>	<b>Vazão (m³/d)</b>	<b>m³ biogás /</b>
P5	3,5	84	0,36
P6	6,6	158,4	1,29

Baseado nos dados de vazão encontrados pode-se relacionar o volume do biodigestor com a quantidade de biogás gerado. Angonese et al (2006) realizou estudos em um biodigestor com volume de 50m³ e TRH de 12 dias em uma propriedade de terminação, situada no estado do Paraná. O autor constatou uma produção média de 31,5 m³ de biogás por dia, alcançando um valor de 0,63 m³ de biogás por m³ de biodigestor.

Os dois biodigestores estudados apresentaram grandes diferenças na produção do biogás, assim como já havia sido constatado uma grande diferença na composição do biogás. Ambas as propriedades apresentam praticamente o mesmo número de animais, no entanto na propriedade P6 o biodigestor possui um volume menor, reduzindo significativamente o tempo de retenção hidráulica (TRH). O efluente da P6 apresenta maior teor de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Voláteis (STV), os quais são importantes para o crescimento dos microorganismos, principalmente para as bactérias metanogênicas, influenciando deste modo, a maior produção de biogás do que na P5. No entanto, o biogás produzido na P6 apresenta um baixo teor de metano, conferindo menor poder calorífico, e portanto, um gás de baixa qualidade para ser utilizado na geração de energia.

## 6. CONCLUSÕES

O processo de digestão anaeróbia através da utilização de biodigestores apresentou altos valores de remoção de DQO, ST e SVT, com exceção da P6. No entanto os dejetos necessitam de um tratamento complementar, uma vez que o seu potencial poluente ainda é elevado para seu descarte no meio ambiente. O biofertilizante obtido após o emprego da digestão anaeróbia é largamente utilizado nas propriedades visitadas, sendo principalmente utilizados para fornecer nutrientes nas pastagens e lavouras.

Os valores do teor metano encontrados no biogás das seis propriedades, de modo geral, são relativamente altos comparados com a literatura consultada, não apresentando grandes variações entre os sistemas de produção estudados. Dessa forma, os valores encontrados variaram de 70 a 72% de  $\text{CH}_4$ , enquanto em P6 apresentou um valor muito abaixo se comparada às demais propriedades, com um teor de metano de 56%.

Já a concentração de  $\text{CO}_2$  observada nas propriedades estudadas variou entre 28-48%, estando dentro dos valores recomendados na literatura. A propriedade P6, na qual o biodigestor não apresentou um bom funcionamento, o valor de  $\text{CO}_2$  encontrado foi maior.

De modo geral, todos os biodigestores estudados apresentaram condições favoráveis ao processo de digestão anaeróbia. Os valores encontrados de potencial redox estão dentro dos padrões recomendados para a anaerobiose. Os dejetos apresentaram altos teores de SVT, propiciando uma grande oferta de matéria orgânica aos microrganismos e elevado potencial de produção de biogás. Em todas as propriedades visitadas os valores de temperatura atingiram a faixa mesófila, que é uma boa faixa de temperatura para a atividade metanogênica. O pH medido nas seis propriedades apresentou uma média de 7,64, valor este pouco acima do ideal para o crescimento de microrganismos metanogênicos, segundo Chernicharo (1997), na qual é de 6,6 a 7,4.

Os valores da estimativa de produção de biogás foram bastante variáveis, até mesmo em propriedades de mesmo sistema de produção. Como as propriedades apresentaram características muito diferentes entre si, seja nas características físico-

químicas dos dejetos, número de animais ou no volume do biodigestor, torna-se difícil a comparação entre as mesmas, podendo apenas fazer algumas observações entre elas. Este fato ocorre de maneira mais evidente nas propriedades P1 e P2, que mesmo possuindo o mesmo sistema de criação, ciclo completo, apresentam diferenças enormes nas características dos dejetos, número de animais e TRH no biodigestor, resultando em valores de produção de biogás muito distintas.

Conclui-se que a digestão anaeróbia é um processo eficiente como primeira etapa para o tratamento de dejetos suínos, proporcionando a obtenção de biofertilizante para a reposição de nutrientes em lavouras ou pastagens, e ideal para a obtenção de biogás.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

- Realizar estudos de cunho econômico sobre a viabilidade da utilização do biogás como fonte de energia no meio rural, levando em consideração a sua utilização na propriedade e sua capacidade de produção.
- Contemplar o biogás como uma fonte de energia renovável limpa, propiciando o desenvolvimento de equipamentos específicos para o aproveitamento do biogás para geração de energia.
- Divulgar a tecnologia da digestão anaeróbia como alternativa para o saneamento rural, estabelecendo-se um procedimento para o dimensionamento de biodigestores, pois as unidades estudadas não apresentaram uma justificativa do dimensionamento das unidades de tratamento (biodigestor).



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington: APHA. 1998.

ANGONESE, A. R., CAMPOS, A. T., PALACIO, S. M., SZYMANSKI, N. **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na redução da carga orgânica e produção de biogás a partir de dejetos de suínos**. 2006. Disponível em: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2006/pdf/56.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2008.

BELLI F<sup>o</sup>, P. **Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc**. Thèse de Doctorat de L'Université de Rennes I. France, 1995.

CCE - Centro para a Conservação de Energia. **Guia Técnico de Biogás**. AGEEN – Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, MG: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. v. 5. 246 p.

COMASTRI F<sup>o</sup>, J. A. **Biogás, independência energética do pantanal Mato-grossense**. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Corumbá – MS, 1981. 53p.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto**. Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE). São Paulo, SP. 2006, 179p.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e

Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2003. 106p.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos com bioesterqueira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA). Florianópolis, 1997.

GUSMÃO, M. M. C., **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos no Estado de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA). Florianópolis, 2008. 177 f.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida.** Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA). Florianópolis, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - **Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM)**, 2006. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2006/comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2006/comentarios.pdf). Acesso em 7 de abril de 2008.

KONZEN, E. A. **Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu Impacto ambiental como insumo agrícola.** 7º Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura – Avesui Centro-Oeste. Goiânia, 2005

KUNZ, A., OLIVEIRA, P. A. V. (coordenadores). **Anais da reunião técnica sobre biodigestores para tratamento de dejetos suínos e uso de biogás.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 53p. – (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 106)

KUNZ, A. **Tratamento de dejetos: desafios da suinocultura tecnificada.** Agronline.com.br. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=382>>. Acesso em: 18 de maio de 2008

LAGRANGE, B. **Biométhane.** Tome 2: Principes, Techniques, Utilizations. EDISUD/Energies alternatives, Aix en Provence. 1979.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais.** 2. Ed. – Rio de Janeiro, Guanabara, 1987, p. 763 – 770

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano.** São Paulo: Nobel, 1986. 120p.

MIRANDA, C. R. **Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinocultura.** Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MONTEIRO, L. W. S. **Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo dos dejetos suínos: Lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 146 p.

NDEGWA, P. M., HAMILTON, D. W., CUMBA, H. J., LALMAN, J. A. **Effects of cycle-frequency and temperature on the performance of anaerobic sequencing batch reactors (ASBRs) treating swine waste.** Bioresource Technology, (2007). 9p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Projeto de biodigestor e estimativa de produção de biogás em Sistema de Produção.** Comunicado Técnico 417. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, dezembro/2005. 8p.

OLIVEIRA, P. A. V., HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos.** Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA

II; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.

OLIVER, A. P. M. (organizador). **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 2008. 18 p.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso**. São Paulo ,SP: Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE. 2006, 152 p.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. 115p.

SILVA, F. M., LUCAS JUNIOR, J., BENINCASSA, M., OLIVEIRA, E. **Desempenho de um aquecedor de água a biogás**. Revista Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.3, p.608-614, set./dez. 2005.

TAKITANE, I. C. **Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus Botucatu – UNESP, Botucatu, 2001.137 p.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2003. 90 p.